



# **Analýza využitelnosti solární energie v městské zástavbě**

Vedoucí práce: Ing. Jiří Cajthaml, Ph.D.

Autorka práce: Iva Bambulová



## **Cíl práce:**

Navrhnout ideální postup pro analýzu využitelnosti sluneční energie v zastavěném území, jejíž výsledky by sloužily obyvatelům jako ucelený zdroj informací, potřebných pro navrhování střešních solárních systémů.

Hlavním bodem je modelování slunečního záření prostřednictvím GIS.

## **Podmínky:**

- možnost automatizace procesu
- zpracování pokud možno v jednom software



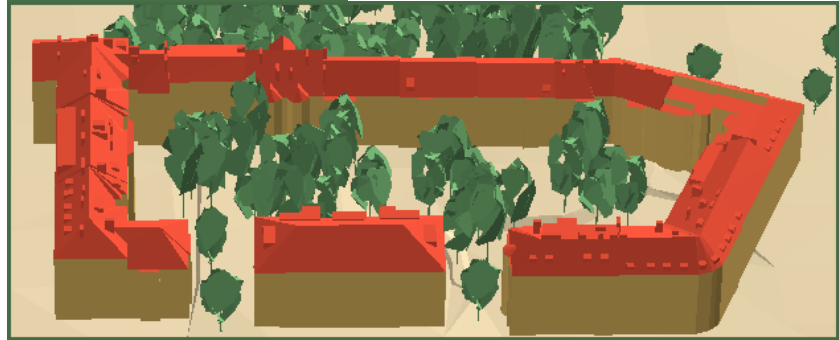
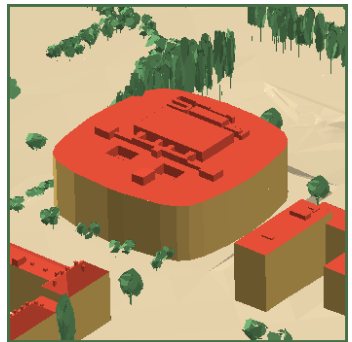
## Postup:

- Získání a úprava vstupních dat
- Modelování slunečního záření v GIS
- Ověření výsledného modelu
- Analýza solárního potenciálu budov
- Prezentace získaných dat



## 3D model terénu, zástavby a zeleně

- data v podobě výřezu 3D modelu zástavby a zeleně poskytl ÚRM hl.m. Praha
- podmínky pro výběr oblasti:
  - kopcovitý terén
  - různé typy zástavby a zeleně
  - 2 meteostanice
- 4 soubory formátu shapefile – terén, zástavba, zeleň, mosty
- budovy atributově rozčleněny do 8 skupin – svislé stěny, šikmé a vodorovné střechy, komíny, vikýře a nástavby, věže atd.
- zpracovány nadstavby a vikýře širší než 2 m, komíny vyšší než 2 m a na zdech výstupky větší než 0,7 m







## Meteorologická data

- zdroj dat solární radiace
- účely: kalibrace vstupních parametrů a kontrola správnosti modelu solární radiace

### Stanice ČHMÚ Karlov

- po konzultaci nahradila data ze stanice Fsv ČVUT
- profesionální stanice
- hodinová data pro ročníky 2006 – 2010
- globální, difuzní i přímé záření, extraterestrické záření, propustnost atmosféry atd.

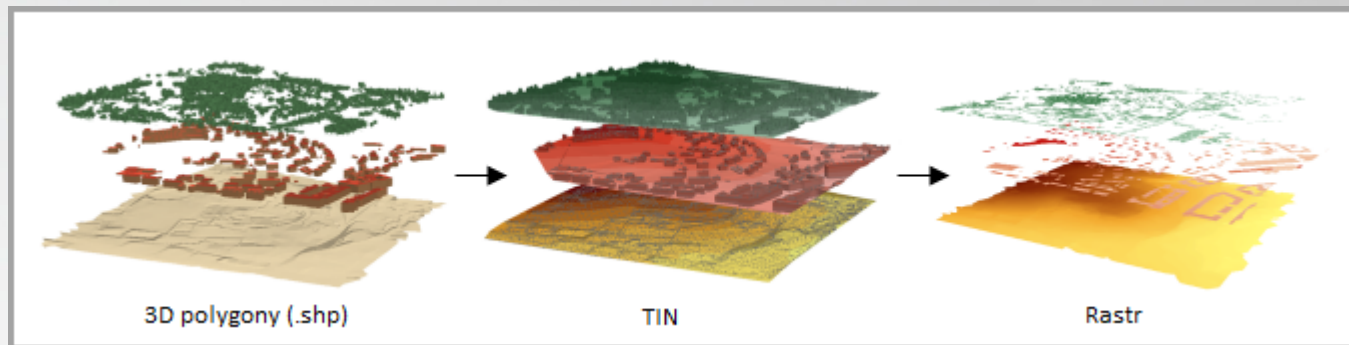
### Stanice Strahov, blok 4

- projekt klubu Silicon Hill (studentská unie ČVUT)
- poloprofesionální stanice
- data intenzity slunečního záření po 5 minutách pro rok 2012



## I. Příprava vstupních dat pro nástroj Area Solar Radiation (ArcGIS)

- příprava rastru terénu, zástavby a zeleně ze 3D modelu
  - převod automatizován pomocí ArcGIS ModelBuilder

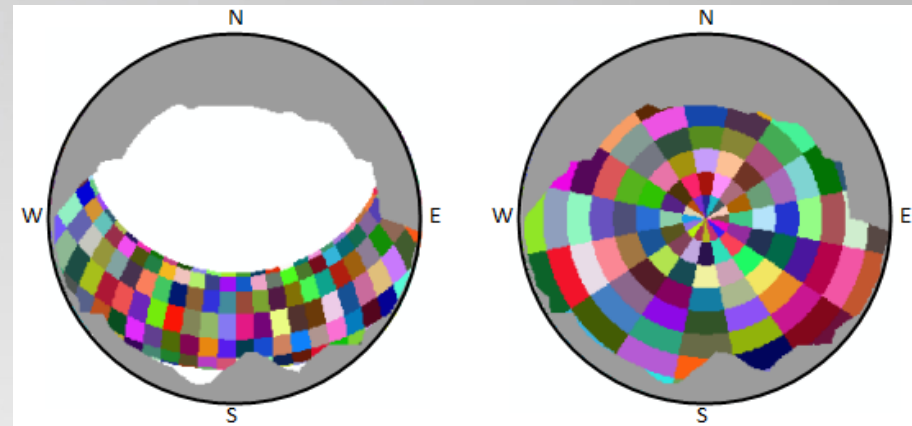


- konfigurace času
- odhad atmosférických parametrů „Propustnost atmosféry“ a „Podíl difuzního záření“
  - kalibrace pomocí referenčních dat z meteorologických stanic



## Princip výpočtu modelu

- Pro každý pixel vstupního rastru povrchu je vypočtena mapa viditelnosti, mapa pohybu Slunce a mapa oblohy.
  - Mapa viditelnosti reprezentuje, jaká část oblohy je z daného místa viditelná a která je zakryta okolními objekty.
  - Mapa pohybu Slunce slouží k výpočtu přímého slunečního záření, simuluje dráhu Slunce nad obzorem.
  - Mapa oblohy slouží k určení difuzního slunečního záření.
- Překrytím map a jejich součtem se určí hodnoty solární radiace [ $\text{Wh}/\text{m}^2$ ], tj. množství dopadajícího slunečního záření pro zvolené časové úseky – v našem případě měsíce.
- Výsledkem výpočtu je rastr, pokrývající zpracovávané území, kde hodnota pixelu je rovna množství globálního slunečního záření, které na jeho plochu dopadne za zvolený časový úsek.





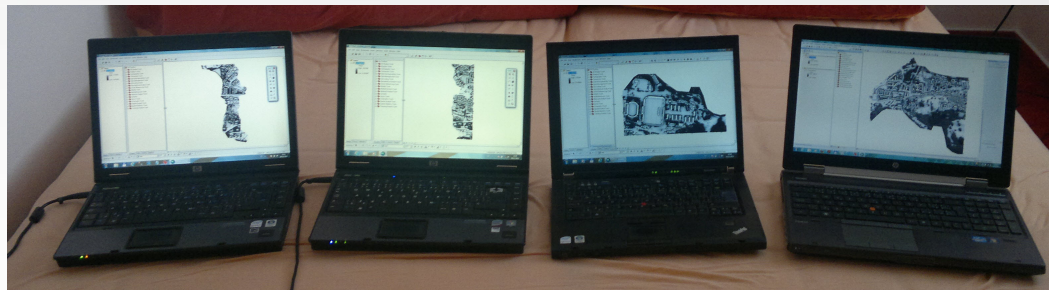


## II. Tvorba modelu dopadajícího slunečního záření

- výpočet velmi zatěžující operační paměť počítače → zpracovávané území rozděleno na pět sektorů, zpracovaných na pěti počítačích
- zpracování na 3 etapy, podle atmosférických parametrů

| Sektor          | Břevnov      | Dejvice      | Kulaťák     | Malovanka     | Strahov      |
|-----------------|--------------|--------------|-------------|---------------|--------------|
| Doba zpracování | 8 dní 17 hod | 9 dní 14 hod | 9 dní 9 hod | 10 dní 11 hod | 10 dní 5 hod |

- výsledek pro každý sektor = 12 rastrů (pro každý měsíc v roce), kde každý pixel nese hodnotu měsíčního množství dopadající globální sluneční radiace na jeho plochu [ $\text{Wh}/\text{m}^2$ ]





Value  
High: 167993  
Low: 0,229686

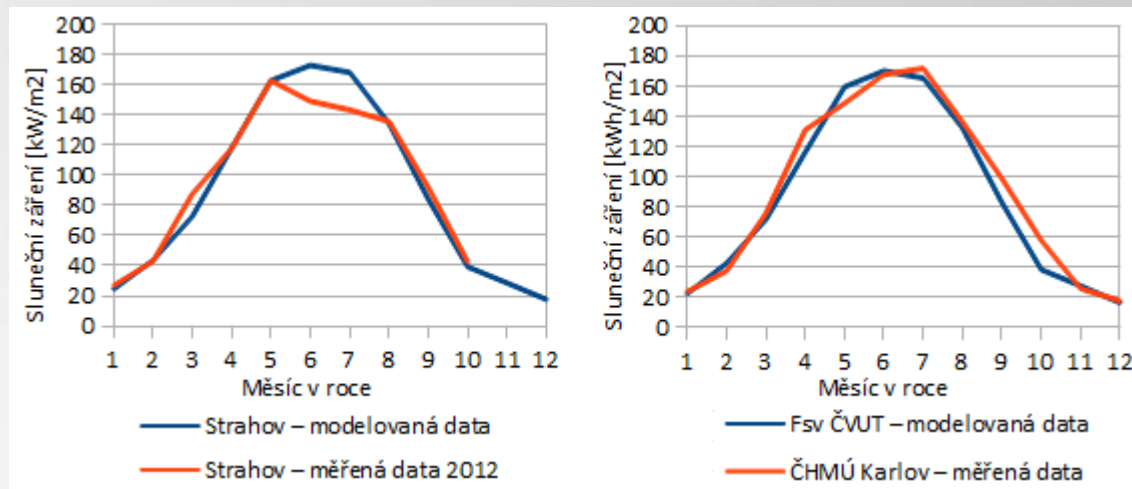
S



# Ověření výsledného modelu



- porovnáním vypočtených měsíčních úhrnů solární radiace s měřeními



- vizuální kontrola správnosti modelování v zastíněných prostorách
- potřeba většího množství dat, např. data z instalovaných solárních panelů



- = extrakce dat z modelu slunečního záření a povrchu → získání informací charakterizujících solární potenciál každé střechy v řešeném území
- tvorba půdorysných polygonů střech z původního 3D modelu
- naplnění atributové tabulky polygonů pomocí Zonal Statistics a Map Algebra následujícími daty:
  - globální sluneční záření pro jednotlivé měsíce a celý rok [Wh/m<sup>2</sup>]
  - sklon a orientace střechy [°]
  - použitelná plocha střechy (tj. bez komínů, vikýřů apod.) [m<sup>2</sup>]
  - energetická výtěžnost potenciálního střešního systému [kWh] o ploše rovnající se celkové ploše střechy a účinnosti rovné 14%



- podmínky pro formu prezentace dat:
  - dostupnost a pochopitelnost široké veřejnosti
  - atraktivnost, interaktivnost
- inspirace projektem města Boston „Solar Boston“ → interaktivní webová mapa
- využití systému ArcGIS Explorer Online
  - systém pro správu a sdílení geoprostorových dat na internetu
  - prostředí pro tvorbu interaktivních online map či jiných aplikací – podkladové mapy, šablony, GIS nástroje





## Postup tvorby interaktivní webové mapy

- nahrání souboru střešních polygonů (.shp) s atributovou tabulkou naplněnou potřebnými daty
- konfigurace „pop-ups“ tj. vyskakovacích oken
  - médium pro znázornění informací o solárním potenciálu jednotlivých budov
  - po kliknutí na libovolný střešní polygon zobrazí informace o solárním potenciálu vybrané střechy, které čerpá z atributové tabulky
  - vyskakovací okna obsahují:
    - informace o celkové ploše střechy, orientaci a sklonu střechy, ročním úhrnu globálního slunečního záření na 1 m<sup>2</sup> střechy a výtěžnosti potenciálního fotovoltaického systému
    - graf znázorňující vývoj měsíční globální solární radiace během celého roku
    - graf znázorňující měsíční hodnoty výtěžnosti potenciálního solárního systému
- nastavení zobrazení polygonů

Home

Details

Share



Find Places

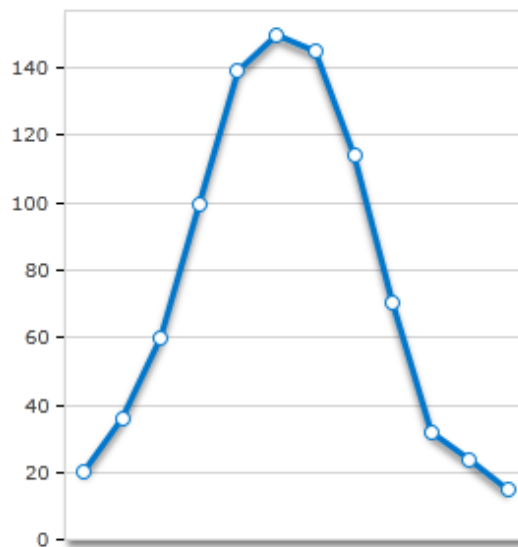


### Solární potenciál budov Prahy 6

Vlastnosti označené části střechy:

- Plocha 2 583,30 m<sup>2</sup>
- Orientace 12,47°
- Sklon 4,60°
- Celkové roční množství slunečního záření 898 154,00 Wh/m<sup>2</sup>
- Celkový roční modelový výkon fotovoltaického systému, pokrývajícího celou plochu označené části střechy a o 14% účinnosti 324 827 560,62 [kWh]

Sluneční záření v průběhu roku [kWh/m<sup>2</sup>]

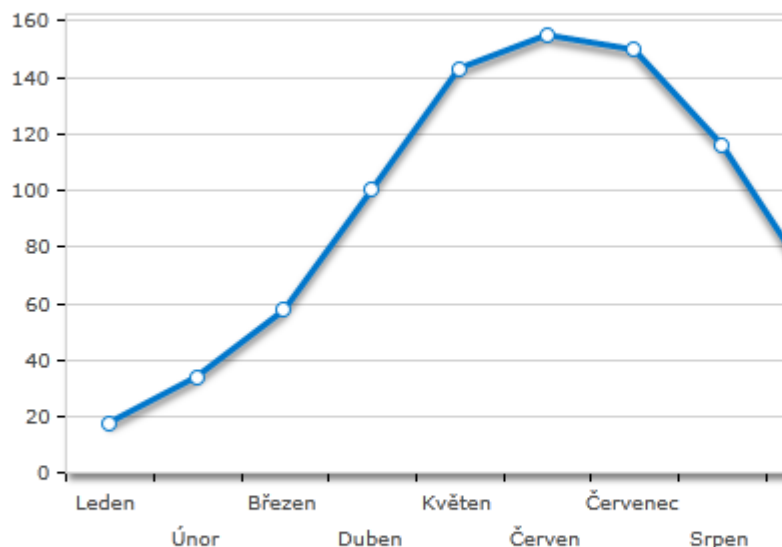


# Prezentace získaných dat



## Solární potenciál budov Prahy 6

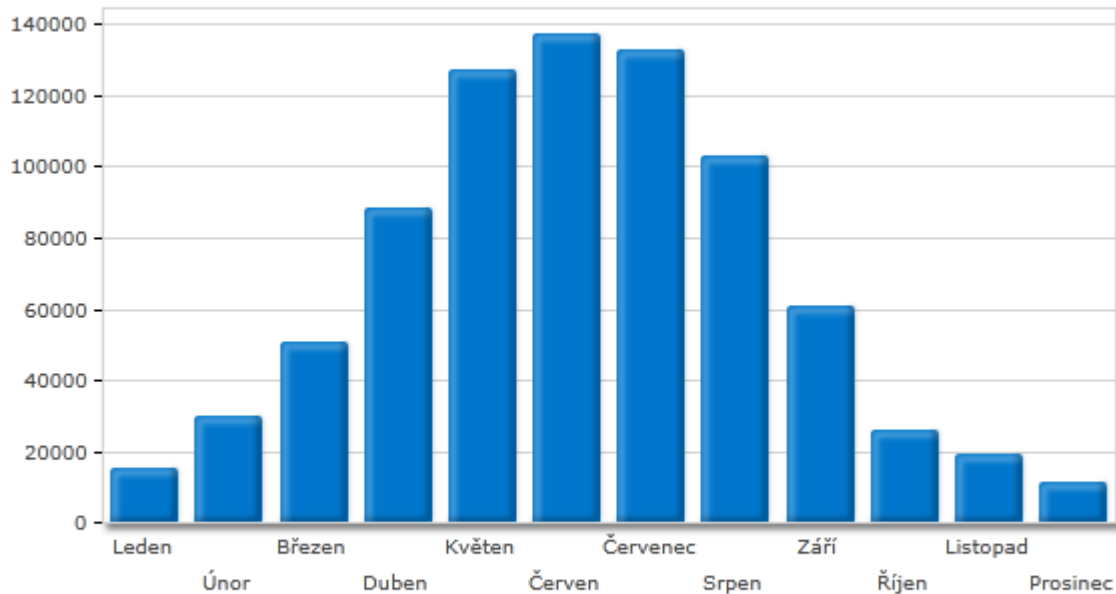
Sluneční záření v průběhu roku [kWh/m<sup>2</sup>]



Graf zobrazuje hodnoty globálního slunečního záření pro jednotlivé měsíce a průměrnou hodnotu pro označenou část střechy.

## Solární potenciál budov Prahy 6

Model výkonu fotovoltaického systému [kWh]



Hodnoty jsou určeny pro potencionální systém o rozměru 6 353,53 m<sup>2</sup>, rovnajícímu se celé ploše označené části střechy. Pro účinnost systému je uvažována hodnota 14%.





## Výsledkem práce je:

- návrh postupu analýzy solárního potenciálu
- webová mapa, která nabízí obyvatelům měst možnost relativně intuitivní a jednoduchou cestou zjistit přesné informace, potřebné k navrhování střešního solárního systému

## Návrhy na vylepšení:

- z vytvořených zdrojů dat lze odvodit mnoho dalších cenných informací – návratnost investic do solárního systému, výroční snížení emisí CO<sub>2</sub> atd.
- zdokonalení webové mapy
- rozšíření databáze zdrojů meteorologických dat pro detailnější ověření spolehlivosti modelu



**Děkuji vám za pozornost!**

